

Analisis Anomali Pola Proteksi Non Cascade Bay Trafo 3 Gardu Induk Cengkareng Melalui Studi Literatur Dan Observasi

Belgis Amarilla¹, Arief Marwanto²

^{1,2}Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia¹

Article Info

Article history:

Received Mei 30, 2025
Revised Juni 30, 2025
Accepted Juni 30, 2025

Kata Kunci:

Anomali,
Proteksi,
Non Cascade,
OCR

Keywords:

Anomali,
Proteksi,
Non Cascade,
OCR

ABSTRAK

Gangguan sistem tenaga listrik dapat terjadi kapanpun akibat kegagalan perangkat yang tidak berfungsi sesuai kinerjanya, sehingga menimbulkan risiko terganggunya kontinuitas penyaluran listrik dan menurunkan keandalan sistem. Salah satu upaya pengendalian gangguan adalah melalui koordinasi proteksi dengan pola noncascade antara relay OCR sisi incoming 20 kV dan relay penyulang 20 kV pada trafo. Pada tanggal 8 Februari 2023, hasil implementasi pola proteksi Non-Cascade pada Bay Trafo 3 GI Cengkareng mengalami anomali yang menyebabkan trip PMT Incoming dan penyulang kosmetik. Gangguan ini mengakibatkan pemadaman beban sebesar 29 MW selama 16 menit, menimbulkan kerugian ekonomi signifikan bagi PLN dan pelanggan industri. Analisis menunjukkan kesalahan penyetapan fungsi logic relay OCR pada penyulang 20 kV. Ditemukan logic fungsi CBF dan kontak output Buspro pada relay penyulang kosmetik belum aktif sehingga OCR penyulang tidak mengirim sinyal blok dan mentripping PMT Incoming. Dilakukan breakdown maintenance dengan resetting logic pada rele penyulang kosmetik kemudian dilakukan pengujian waktu kerja relay OCR (sesuai amandemen/revisi KEPDIR No 0520/K/DIR/2014) dan uji fungsi pada logic (hasil sesuai kesepakatan UITJBB dan UID th 2022). Disimpulkan kinerja relay sesuai dengan pola proteksi non cascade dan sistem dapat dioperasikan kembali.

ABSTRACT

Electrical power system disturbances can occur at any time due to equipment failure that prevents devices from functioning as intended, thereby posing a risk to the continuity of electricity distribution and reducing system reliability. One method of disturbance control is through protection coordination using a non-cascade scheme between the 20 kV incoming OCR relay and the 20 kV feeder relay on the transformer. On February 8, 2023, the implementation of the Non-Cascade protection scheme at Transformer Bay 3 of Cengkareng Substation experienced an anomaly that caused a trip of the Incoming Circuit Breaker and the cosmetic feeder. This disturbance resulted in a 29 MW load outage for 16 minutes, causing significant economic losses to PLN and industrial customers. Analysis showed a misconfiguration in the logic function settings of the 20 kV feeder OCR relay. It was found that the CBF function logic and Buspro output contact on the cosmetic feeder relay were not yet active, preventing the feeder OCR from sending a blocking signal and instead triggering a trip of the Incoming Circuit Breaker. Breakdown maintenance was carried out by resetting the logic on the cosmetic feeder relay. Subsequently, the operating time of the OCR relay was tested (in accordance with the amendment/revision of KEPDIR No. 0520/K/DIR/2014), and a function test of the logic was performed (with results consistent with the 2022 agreement between UITJBB and UID). It was concluded that the relay's performance was in

accordance with the non-cascade protection scheme, and the system could be returned to normal operation.

This is an open access article under the [CC BY](#) license



Corresponding Author:

Belgis Amarilla
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Semarang, Indonesia
Email: belgisamarilla@gmail.com

1. PENDAHULUAN

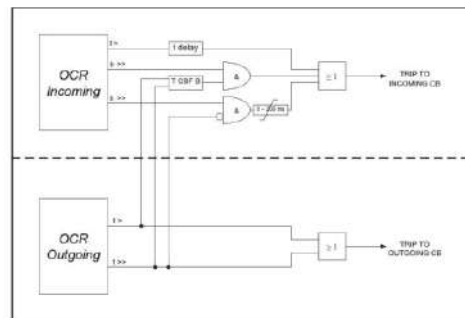
Dalam sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit, transmisi, hingga distribusi banyak terjadi gangguan atau anomali yang dapat terjadi kapan saja [1]. Gangguan dapat didefinisikan sebagai kondisi akibat gagal kerja dari suatu perangkat, komponen, atau elemen untuk bekerja sesuai fungsinya. Sistem proteksi berguna sebagai pencegahan kerusakan peralatan yang diakibatkan oleh gangguan yang memiliki dampak terhadap kelangsungan penyaluran tenaga listrik yang optimal [2]. Tujuan utama pada sistem proteksi adalah mendeteksi adanya keadaan yang tidak normal pada sistem tenaga listrik serta memberikan perintah pada PMT untuk trip serta memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem yang tidak terganggu agar gangguan tidak semakin meluas dan sistem dapat terus berfungsi [3], [4]. Sistem proteksi diwajibkan bisa menentukan wilayah kerja atau wilayah yang terganggu dengan tepat. Hal ini sejalan dengan penelitian Rahim yang menunjukkan bahwa sistem proteksi yang handal memerlukan koordinasi relai arus lebih yang optimal, agar ketika terjadi gangguan di suatu zona, relai terdekat dapat segera bekerja dan mencegah gangguan meluas ke zona lain yang tidak terganggu [5], serta didukung oleh Yusnianti yang menyatakan bahwa sistem proteksi harus memenuhi prinsip selektivitas, stabilitas, sensitivitas, dan kecepatan untuk menjaga keandalan dan keselamatan sistem tenaga listrik [6].

Guna menjaga keandalan penyaluran tenaga listrik perlu adanya koordinasi. Dalam hal ini perlu dilakukan koordinasi antara unit transmisi dan unit distribusi berupa koordinasi sistem proteksi antara relay sisi incoming 20kV dan relay pada sisi penyulang 20kV [7], [8]. Koordinasi proteksi OCR incoming 20kV dan penyulang 20kV pada trafo haruslah memenuhi syarat selektif dan cepat dalam mengisolasi gangguan. Koordinasi tersebut berupa Pola Proteksi Non-Cascade yang menggunakan koordinasi antara OCR incoming 20 kV dan penyulang 20kV yang mana diharapkan agar OCR incoming 20 kV dapat trip instan pada saat gangguan busbar 20kV sehingga gangguan tidak meluas hingga menyebabkan trip pada Transformator 150kV [9].

Skema proteksi cascade merupakan sistem pengamanan yang saat ini umum digunakan dalam jaringan distribusi tenaga listrik. Dalam skema ini, relai pada sisi hilir (penyulang) disetting dengan waktu kerja yang lebih cepat dibandingkan relai pada sisi hulu (*incoming*), sehingga gangguan di hilir dapat diatasi tanpa mempengaruhi sistem di hulu. Namun demikian, skema ini memiliki kelemahan dalam hal selektivitas dan waktu pemutusan (*clearing time*), terutama dalam melindungi transformator. Selektivitas hanya bisa dicapai apabila fungsi instantaneous pada relai incoming sisi 20 kV dinonaktifkan. Akibatnya, gangguan eksternal yang masuk ke transformator akan diclearkan dalam waktu yang lebih lama, meningkatkan risiko kerusakan transformator karena tidak adanya pengamanan busbar secara khusus [10]–[12].

Sebaliknya, skema non-cascade diterapkan untuk transformator distribusi 150/20 kV dan 70/20 kV dengan pengaturan relai OCR melalui sistem pengawatan langsung (*hardwire*). Tujuan utama dari skema ini adalah memberikan perlindungan lebih maksimal terhadap transformator, khususnya dari gangguan arus hubung singkat besar (*through fault current*) yang berpotensi merusak struktur internal

transformator, seperti belitan dan inti besi. Prinsip kerja skema ini juga mengantisipasi kemungkinan kegagalan PMT pada penyulang, dengan mempercepat perintah trip ke PMT incoming sisi 20 kV. Penentuan waktu setting penundaan (*delay*) ini harus mempertimbangkan kemampuan transformator dalam menahan arus hubung singkat, sesuai dengan standar ANSI/IEEE C57.109-1985. Untuk sistem penyulang yang telah menggunakan relai numerik modern, sangat disarankan untuk mengaktifkan elemen CBF (*Circuit Breaker Failure*) sebagai pemicu otomatis untuk memutuskan PMT incoming ketika PMT outgoing gagal beroperasi [13], [14].



Gambar 1. Pengawatan untuk Skema Non-Cascade

Pada tanggal 19 Januari 2023 telah dilakukan implementasi pola proteksi Non-Cascade pada bay Transformator 3 Gardu Induk (GI) Cengkareng. Namun, dalam penerapannya, pola proteksi ini pernah mengalami anomali yang disebabkan oleh kesalahan penyetelan fungsi logika relay OCR pada penyulang 20 kV, sehingga menyebabkan trip pada incoming Trafo 3 GI Cengkareng. Anomali serupa kembali terjadi pada tanggal 08 Februari 2023 pukul 12:51 WIB, di mana terdapat gangguan pada incoming 20 kV Bay Trafo 3 GI Cengkareng yang berasal dari penyulang Kosmetik. Gangguan ini menyebabkan trip pada incoming 20 kV dengan indikasi Buspro Non-Cascade pada relay OCR LV, dengan arus gangguan sebesar 12,54 kA dan waktu clearing time selama 169 ms. Trip ini terjadi bersamaan dengan trip pada penyulang Kosmetik, yang terdeteksi oleh relay OCR sebagai gangguan moment sebesar 11,68 kA dengan waktu clearing time 170 ms.

Permasalahan seperti ini menunjukkan pentingnya koordinasi proteksi yang tepat antara relay OCR incoming dan penyulang agar sistem Non-Cascade dapat bekerja secara selektif dan andal. Hal ini juga diperkuat oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Naibaho dan Pratama, yang menekankan bahwa gangguan dalam sistem Non-Cascade sering kali disebabkan oleh setting relay yang tidak optimal, yang justru memicu trip serentak pada lebih dari satu perangkat proteksi [15]. Selain itu, Romadhoni dan Utami juga menyatakan bahwa keberhasilan implementasi pola Non-Cascade sangat bergantung pada ketepatan koordinasi waktu kerja OCR incoming dan OCR penyulang, agar hanya peralatan yang terganggu saja yang terisolasi [15].

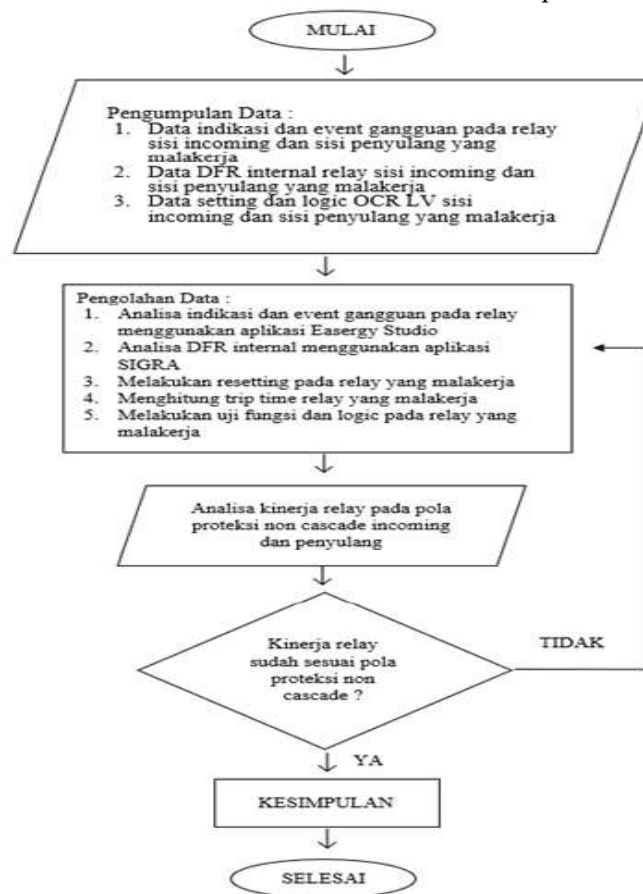
Akibat penyulang 20 kV kosmetik trip menyebabkan pemadaman beban sebesar 29 MW dengan durasi pemadaman selama 16 menit sehingga mengganggu keandalan penyaluran tenaga listrik serta kerugian pihak PLN dan pihak pelanggan. Pelanggan yang terdampak berupa pelanggan industri seperti Perum Angkasa Pura, PT Karunda Abdi Sejati Plasindo, SPBU Jalan Garuda, PT Ciquita Telon, PT Sarimi, PT Asean Makmur, PT Yuli Sofi, Kawasan Pergudangan Daan Mogot sehingga diperkirakan total kerugian akibat pemadaman listrik tersebut mencapai Rp 165,5 juta [16], [17]

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini difokuskan pada pembahasan mengenai analisis anomali pola proteksi non cascade pada Transformator 3 Gardu Induk Cengkareng. sebagai upaya meningkatkan keandalan, kecepatan, dan selektivitas dalam proses isolasi gangguan. Fokus penelitian dibatasi pada kajian terhadap pola proteksi non cascade serta analisis terhadap kerugian finansial yang ditimbulkan akibat gangguan tersebut. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi penyebab anomali, mengevaluasi langkah-langkah breakdown maintenance yang

dilakukan untuk menjaga keandalan sistem, serta menelaah dampak kerugian ekonomi yang dialami PLN dan pelanggan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan kepada pembaca mengenai risiko proteksi non cascade, menjadi acuan teknis bagi PLN dalam pengambilan keputusan operasional, serta memberikan kontribusi sebagai landasan bagi penelitian lebih lanjut di bidang sistem proteksi tenaga listrik.

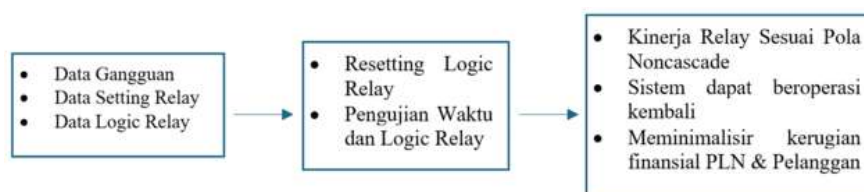
2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus lapangan terhadap sistem proteksi Non-Cascade pada Bay Trafo 3 Gardu Induk Cengkareng. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data dari event relay, DFR internal, dan setting relay menggunakan alat uji proteksi (current injector) serta software *Easergy Studio* dan *SIGRA*. Analisis dilakukan dengan membandingkan arus gangguan dan waktu kerja relay terhadap nilai setting untuk mengevaluasi kinerja koordinasi proteksi antara OCR sisi incoming dan OCR penyulang. Penelitian ini juga mencakup pengujian logika fungsi CBF pada relay penyulang guna memastikan selektivitas dan keandalan sistem proteksi.



Gambar 2. Flowchart

Diagram alur penelitian yang menggambarkan tahapan proses analisis dapat dilihat pada Gambar 3.

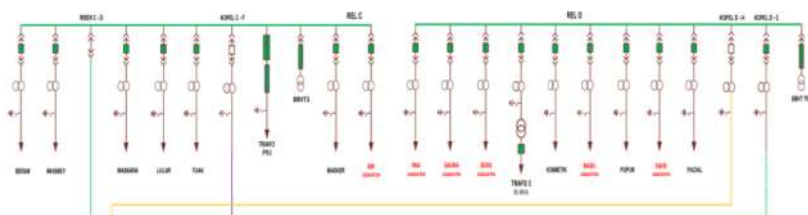


Gambar 3. Blok Diagram Penelitian Anomali Pola Proteksi Non Cascade

Dalam penerapan sistem proteksi Non-Cascade, diperlukan tahapan analisis dan pengujian yang cermat untuk memastikan koordinasi antar relay berfungsi optimal. Proses ini diawali dengan pengumpulan data gangguan, data setting relay, serta data logic relay sebagai dasar evaluasi. Selanjutnya, dilakukan *resetting* logic relay dan pengujian terhadap waktu kerja dan logika relay, guna memastikan bahwa sistem proteksi bekerja secara selektif dan tepat waktu. Sistem Non-Cascade menekankan pada kemampuan relay untuk merespons gangguan secara independen berdasarkan lokasi gangguan tanpa menunggu koordinasi bertingkat seperti pada sistem cascade.

Hasil akhir dari proses ini adalah tercapainya kinerja relay yang sesuai dengan pola Non-Cascade, yang memungkinkan sistem distribusi tenaga listrik dapat segera beroperasi kembali setelah terjadi gangguan. Dengan begitu, sistem ini mampu meminimalisir kerugian finansial baik dari sisi PLN maupun pelanggan, karena gangguan dapat diisolasi secara cepat dan tidak menjalar ke bagian sistem lain. Prinsip kerja sistem ini mengikuti teori selektivitas proteksi, yang mengharuskan waktu kerja relay cadangan lebih lambat dari relay utama, agar hanya relay terdekat dengan gangguan yang bekerja terlebih dahulu [11].

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu metode literatur dan observasi langsung. Metode literatur dilakukan dengan mengumpulkan data dari berbagai referensi seperti jurnal dan buku yang berkaitan dengan sistem proteksi dan relay. Sementara itu, metode observasi dilakukan langsung di lapangan, yakni pada sisi incoming 20 kV Trafo 3 dan penyulang Kosmetik di Gardu Induk Cengkareng, dengan fokus pada data indikasi dan event relay, data internal DFR relay, serta data setting dan logic relay. Struktur sistem distribusi yang menjadi objek penelitian dapat dilihat melalui Gambar 4.



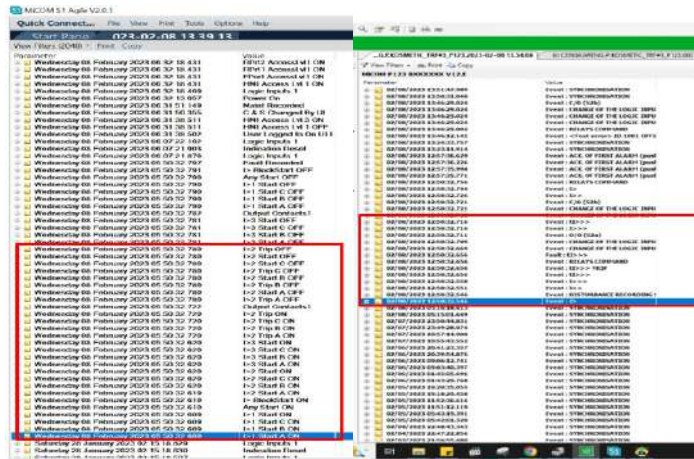
Gambar 4. Single Line Diagram Incoming Trafo 3 GI Cengkareng

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap data anomali pada sistem proteksi Non-Cascade, di mana terjadi gangguan pada sisi incoming dan penyulang Kosmetik dengan arus gangguan tinggi serta waktu *clearing time* relay yang sangat dekat, menunjukkan adanya indikasi ketidaksesuaian pola kerja proteksi Non-Cascade. Indikasi awal dari gangguan ini dapat dilihat melalui tangkapan *relay OCR* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Indikasi Relay OCR LV Trafo 3 dan OCR Penyulang Kosmetik

Kejadian ini kemudian dianalisis berdasarkan rekaman waktu event relay sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, yang memperlihatkan waktu kerja relay yang hampir bersamaan antara sisi incoming dan penyulang.



Gambar 6. Event Relay OCR LV Trafo 3 dan OCR Penyulang Kosmetik

Analisis ini diperkuat dengan data DFR internal relay yang menunjukkan besaran arus gangguan pada masing-masing fasa. Nilai arus gangguan untuk sisi LV Trafo 3 dan penyulang Kosmetik masing-masing ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

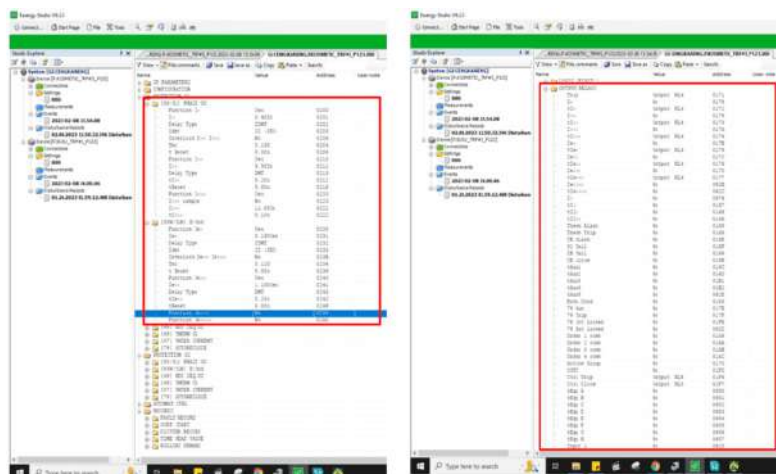


Gambar 7. Arus Gangguan DFR Internal Relay OCR LV Trafo 3



Gambar 8. Arus Gangguan DFR Internal Relay OCR Penyulang

Untuk memastikan kesesuaian kinerja relay, dilakukan perhitungan waktu kerja relay berdasarkan data setting yang tersedia dan menggunakan rumus perhitungan *inverse time* dan *definite time*. Data pengaturan setting relay OCR penyulang Kosmetik yang digunakan sebagai referensi perhitungan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Setting Relay OCR Penyulang Kosmetik

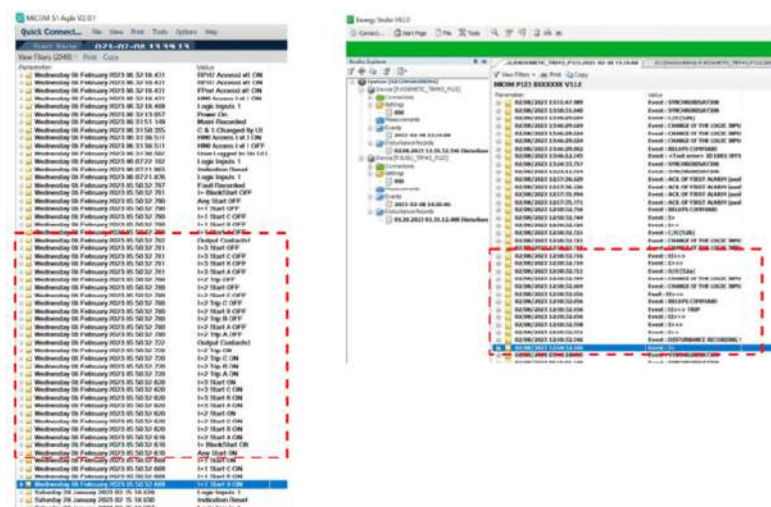
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Investigasi Anomali Pola Proteksi Non Cascade

Sesuai data indikasi, event, dan DFR Internal pada relay maka berikut adalah tabel data 1 yang berisi data anomali pola proteksi non cascade pada bay trafo 3 GI Cengkareng :

Tabel 1. Data Anomali Pola Proteksi Non Cascade Bay Trafo 3 GI Cengkareng

Kondisi Relay Data Gangguan	Gangguan Saat Setting Normal		Gangguan Saat Setting Abnormal	
	OCR LV Trafo 3	OCR P. Kosmetik	OCR LV Trafo 3	OCR P. Kosmetik
Indikasi	I > 2 Start	Moment	TRIP (Buspro Non-Cascade)	Moment
Arus Gangguan	0 A	11,68 kA	12,54 Ka	11,68 kA
PMT TRIP	NO TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
Clearing Time	0 ms	170 ms	169 ms	170 ms



Gambar 10. Event Relay OCR Incoming dan OCR Penyulang Kosmetik

Pada tabel data 1 dan Gambar 2 investigasi menunjukkan bahwa saat penyulang kosmetik trip karena indikasi momen, tidak terjadi pengiriman sinyal blocking ke OCR Incoming, sehingga OCR Incoming memerintahkan trip PMT Incoming dengan indikasi Buspro. Sedangkan berdasarkan data setting dan logic, penyulang yang sukses trip seharusnya tidak memicu trip pada PMT Incoming. Maka untuk mengetahui relay pada sisi incoming dan sisi penyulang bekerja dengan waktu trip yang benar maka dilakukan perhitungan waktu trip relay sesuai dengan persamaan dibawah ini :

3.1.1 Analisa Data Setting Relay

Berikut tabel yang memuat data setting relay OCR incoming trafo 3 dan OCR penyulang kosmetik :

Tabel 2. Setting Pola Proteksi Non Cascade Trafo 3

Setting	Ratio CT	OC		MOC-1		MOC-2		GF		MGF	
		A	TMS	A	Td (s)	A	Td (s)	A	TMS	A	Td (s)
Incoming	2000/ 5 A	2080	0.25	7000A	0.1	7000A	0.7	340	0.15	Blocked	
Penyulang	800/ 5 A	320	0.15	4400	0.3	8800	0.1	120	0.12	880	0.3

Dari data tabel diatas, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- a. Perhitungan Setting Sisi Incoming
 - 1) Menghitung Setting Arus Relay

$$I \text{ set (sekunder)} = 5,2 \text{ A}$$
$$I \text{ set (pri)} = I \text{ set (sekunder)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} = 5,2 \times \frac{2000}{5} = 2080 \text{ A}$$

2) Menghitung Waktu Trip Relay (*Definite Time Relay*)

Diketahui :

Indikasi = Buspro Operated (MOC-1)

Trip time = 0,170 s

Td = 0,1

I Fault = 12.540 A

$$T_d \text{ relay} = \text{Trip time}$$
$$t = 0,170 \text{ s} \approx 0,1 \text{ s (sesuai)}$$

b. Perhitungan Setting Sisi Penyulang

1) Menghitung Setting Arus Relay

$$I \text{ set (sekunder)} = 0,4 \times I_n = 0,4 \times 5 = 2 \text{ A}$$
$$I \text{ set (primer)} = I \text{ set (sekunder)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} = 2 \times \frac{800}{5} = 320 \text{ A}$$

Menghitung Waktu Trip Relay (*Definite Time Relay*)

Diketahui :

Indikasi = Moment Penyulang Sukses Trip (MOC-2)

Trip time = 0,169 s

Td = 0,1

I Fault = 12.540 A

$$T_d \text{ relay} = \text{Trip time}$$
$$t = 0,169 \text{ s} \approx 0,1 \text{ s (sesuai)}$$

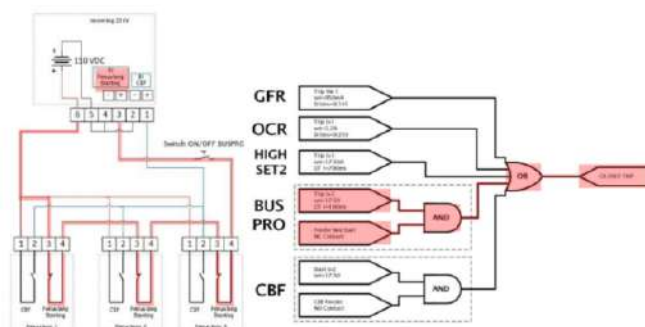
Dari hasil perhitungan tersebut sesuai dengan data gangguan dan data setting, OCR Incoming dan OCR Penyulang bekerja dengan benar. Dalam hal ini maka dilakukan analisa pada fungsi logic pada Penyulang Kosmetik yang mana ketika gangguan penyulang tersebut sukses trip namun mengirim perintah trip pada OCR incoming.

3.1.2 Analisa Logic Fungsi Relay

Pemeriksaan logic relay pada sisi incoming dan penyulang menunjukkan bahwa fungsi CBF dan kontak output Buspro pada relay penyulang kosmetik belum aktif. Akibatnya, saat gangguan terjadi, relay OCR penyulang tidak mengirim sinyal blocking ke OCR incoming, sehingga OCR incoming memerintahkan trip PMT Incoming dengan indikasi Buspro karena logic Buspro terpenuhi [18].

Name	Value	Address	User note
LOCKING LOGIC 2			
LOGIC SELECT 1			
LOGIC SELECT 2			
OUTPUT RELAYS			
tIrip	Output RL4	0171	
tI>	No	0178	
tI>>	Output RL4	017C	
tI>>>	No	0179	
tI>>>>	Output RL4	0173	
tI>>>>>	No	017A	
tI>>>>>>	Output RL4	0174	
tIe>	No	017B	
tIe>>	Output RL4	0175	
tIe>>>	No	017C	
tIe>>>>	Output RL4	0176	
tIe>>>>>	No	017D	
tIe>>>>>>	Output RL4	0177	
tIe>>>>>>>	No	062B	
tIe>>>>>>>>	No	062C	
tIc	No	0676	
tIc>	No	016F	
tIc>>	No	0168	
tIc>>>	No	014A	
Therm Alarm	No	0169	
Therm Trip	No	016A	
CB Alarm	No	016E	
SC Fail	No	016F	
CB Fail	No	0166	
CB close	No	016B	
tAUX1	No	016C	
tAUX2	No	016D	
tAUX3	No	016E	

Gambar 11. Temuan Nonaktif Kontak Output Relay Penyulang Kosmetik



Gambar 12. Logika Tripping Yang Bekerja (Pada saat anomali)

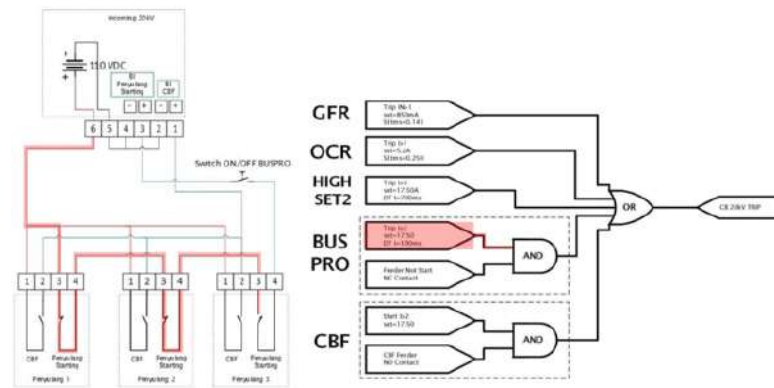
3.2 Tindak Lanjut Perbaikan Anomali

3.2.1 Resetting Relay OCR Penyulang Kosmetik

Resetting dilakukan pada logika fungsi relay OCR penyulang kosmetik sesuai dengan gambar dengan pengaturan aktif pada level I>, level I>> dan level I>>> yang diarahkan ke output RL 4, beserta fungsi CB Fail yang diarahkan ke output RL7. Kemudian disetel output RL 2 sebagai jalur sinyal blocking Buspro dan RL 7 untuk CB Fail Ketika telah dilakukan resetting maka logika tripping yang seharusnya bekerja sesuai pada relay ditunjukkan pada gambar [19].

Name	Value	Address	User note
LOCKING LOGIC 2			
LOGIC SELECT 1			
LOGIC SELECT 2			
OUTPUT RELAYS			
tIrip	Output RL4	0171	
tI>	Output RL2	0178	
tI>>	Output RL4	017C	
tI>>>	Output RL2	0179	
tI>>>>	Output RL4	0173	
tI>>>>>	Output RL2	017A	
tI>>>>>>	Output RL4	0174	
tIe>	No	017B	
tIe>>	Output RL4	0175	
tIe>>>	No	017C	
tIe>>>>	Output RL4	0176	
tIe>>>>>	No	017D	
tIe>>>>>>	No	0177	
tIe>>>>>>>	No	062B	
tIe>>>>>>>>	No	062C	
tIc	No	0676	
tIc>	No	016F	
tIc>>	No	0168	
tIc>>>	No	014A	
Therm Alarm	No	0169	
Therm Trip	No	016A	
CB Alarm	No	016E	
SC Fail	No	016F	
CB Fail	Output RL7	0166	
CB close	No	016B	
tAUX1	No	016C	
tAUX2	No	016D	
tAUX3	No	016E	

Gambar 13. Resetting Logic Fungsi Relay OCR P. Kosmetik



Gambar 14. Logika Tripping Yang Sesuai (setelah resetting)

3.2.2 Pengujian Relay Penyulang Kosmetik

Pengujian ini dilakukan setelah resetting dengan tujuan untuk mengetahui apakah relay bekerja dengan andal dan selektif yang kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan. Berikut tabel data setting relay OCR penyulang kosmetik :

Tabel 3. Data Setting Relay OCR Penyulang Kosmetik

Setting Rasio CT 800/5A	OC (I >)		MOC-1(i >>)		MOC-2 (I >>>)		GF		MGF	
	A	TMS	A	Td (s)	A	Td (s)	A	TMS	A	Td (s)
Feeder	320	0.15	4400	0.3	8800	0.1	120	0.12	880	0.3

Pada perhitungan ini menggunakan persamaan (2.1), persamaan (2.2), dan persamaan (2.3) :

a. Menghitung Setting Arus Relay

$$I > (sek) = I set (pri) \times \frac{1}{Ratio CT} = 320 \times \frac{800}{5} = 2 A$$

$$I >> (sek) = I set (pri) \times \frac{1}{Ratio CT} = 4400 \times \frac{800}{5} = 27,5 A$$

$$I >>> (sek) = I set (pri) \times \frac{1}{Ratio CT} = 8800 \times \frac{800}{5} = 55 A$$

b. Menghitung waktu kerja relay OCR (I >) dengan karakteristik standard inverse

$$t = TMS \times \frac{0,14}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right)^{0,02} - 1}$$

Waktu kerja relay dengan I Fault (arus gangguan) :

- 1) 2 x I set = 4 A, maka waktu kerja yang didapatkan t = 1,5108 s
- 2) 3 x I set = 6 A, maka waktu kerja yang didapatkan t = 0,900 s
- 3) 5 x I set = 10 A, maka waktu kerja yang didapatkan t = 0,643 s

c. Menghitung waktu kerja relay OCR (I >>) dan OCR (I >>>) sesuai karakteristik Definite Time Relay

Td relay = Trip time

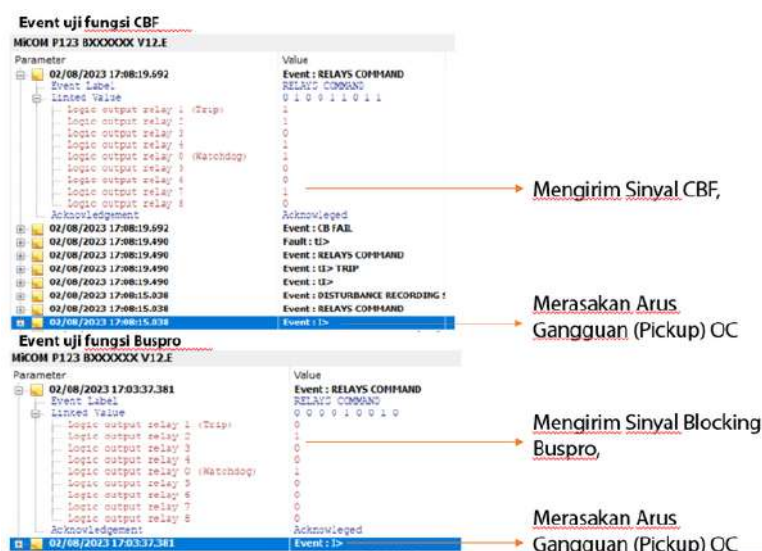
t I >> = 0,3 s

t I >>> = 0,1 s

Tabel 4. Hasil Pengujian Relay OCR Penyulang Kosmetik

Setting	2 × I	t (s)	3 × I	t (s)	5 × I	t (s)	MOC-1	t (s)	MOC-2	t (s)
Perhitungan	4 A	1,5108	6 A	0,9	10 A	0,643	27,5 A	0,3	55 A	0,1
R	2 A	4 A	1,422	6 A	0,967	10 A	0,689	27,5 A	0,277	55 A
S	2 A	4 A	1,422	6 A	0,967	10 A	0,689	27,5 A	0,277	55 A
T	2 A	4 A	1,422	6 A	0,967	10 A	0,689	27,5 A	0,277	55 A

Perbandingan hasil perhitungan dan pengujian di lapangan menunjukkan relay OCR penyulang kosmetik bekerja sesuai dengan setting dan sesuai dengan standar amandemen/revisi KEPDIR No 0520/K/DIR/2014 yaitu toleransi waktu kerja aktual relay berada dalam toleransi ± 5% dari waktu teoritis. Sebagai contoh dengan injeksi arus 2A maka relay OCR dianggap bekerja dengan benar jika waktu tripnya berada diantara 1,43 s ≤ t ≤ 1,59 s. Sehingga relay dikatakan masih layak beroperasi. Selain uji waktu trip, pengujian logic fungsi Buspro dan CBF juga menunjukkan hasil yang sesuai. Uji fungsi menggunakan PMT membuktikan bahwa relay bekerja selektif, baik pada kondisi penyulang sukses maupun gagal trip sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 5 dan tabel 6 serta gambar 7 berikut.



Gambar 15. Hasil Uji Fungsi CBF dan Blocking Buspro P. Kosmetik

Tabel 5. Hasil Uji Fungsi Logic Blocking Buspro (Penyulang Sukses Trip)

INJEKSI ARUS	INDIKASI	RELAY TRIP	LOGIC CBF	BLOCK BUSPRO	PMT PENYULANG	PMT INC
4	OC (I >1)	1	1	0	0	1
6A	OC (I >1)	1	1	0	0	1
10A	OC (I >1)	1	1	0	0	1
27,5 A	MOC-1 (I >2)	1	1	0	0	1
55 A	MOC-2(I >3)	1	1	0	0	1

Tabel 6. Hasil Uji Fungsi Logic CBF (Penyulang Gagal Trip)

INJEKSI ARUS	INDIKASI	RELAY TRIP	LOGIC CBF	BLOCK BUSPRO	PMT PENYULANG	PMT INC
4	OC (I >1)	1	0	1	1	0
6A	OC (I >1)	1	0	1	1	0
10A	OC (I >1)	1	0	1	1	0
27,5 A	MOC-1 (I >2)	1	0	1	1	0
55 A	MOC-2(I >3)	1	0	1	1	0

3.3 Analisa Kerugian Finansial Pihak PLN dan Konsumen

Pemadaman beban sebesar 29 MW selama 16 menit yang terjadi akibat trip pada incoming Trafo 3 GI Cengkareng berdampak signifikan terhadap pelanggan, terutama pelanggan industri di sekitar area seperti PT Karunda, Perum Angkasa Pura, dan kawasan pergudangan. Analisis kerugian finansial menunjukkan bahwa kerugian energi tidak terjual yang dialami oleh PLN dan kerugian ekonomi pelanggan industri cukup besar. Untuk satu pelanggan industri, kerugian diperkirakan mencapai Rp 165 juta, sementara jika dihitung untuk seluruh pelanggan terdampak, kerugian dapat mencapai miliaran rupiah. Hal ini menegaskan pentingnya pengelolaan sistem proteksi yang andal untuk menghindari gangguan yang merugikan secara ekonomi [20].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa anomali proteksi pada sistem non-cascade disebabkan oleh tidak aktifnya logika fungsi CBF dan kontak output Buspro pada relay penyulang kosmetik, yang mengakibatkan OCR gagal mengirim sinyal blok dan memicu trip pada PMT. Tindakan breakdown maintenance berupa resetting fungsi logic pada OCR Penyulang Kosmetik serta hasil perhitungan waktu kerja relay yang dibandingkan dengan hasil pengujian di lapangan diketahui bahwa relay OCR Penyulang Kosmetik bekerja sesuai dengan setting dan sesuai dengan standar amandemen/revisi KEPDIR No 0520/K/DIR/2014 yaitu toleransi waktu kerja aktual relay berada dalam toleransi $\pm 5\%$ dari waktu teoritis. Sebagai contoh dengan injeksi arus 2A maka relay OCR dianggap bekerja dengan benar jika waktu tripnya berada diantara $1,43 \text{ s} \leq t \leq 1,59 \text{ s}$. Sehingga relay dikatakan masih layak beroperasi. Kemudian dilakukan uji fungsi logic CBF dan BUSPRO berdasarkan kesepakatan UITJBB dan UID tahun 2022 menunjukkan bahwa kinerja relay telah sesuai dan sistem dapat kembali dioperasikan.

Gangguan ini menyebabkan pemadaman sebesar 29 MW selama 16 menit, berdampak signifikan pada pelanggan industri, dengan estimasi kerugian mencapai Rp165 juta untuk satu pelanggan dan potensi kerugian miliaran rupiah secara keseluruhan. Oleh karena itu, disarankan dilakukan scanning setting bersama terhadap pengaturan sistem proteksi oleh pihak transmisi dan distribusi untuk mencegah terulangnya anomali, serta evaluasi terhadap penerapan sistem proteksi non-cascade berbasis protokol IEC 61850 (GOOSE) guna meningkatkan keandalan sistem proteksi di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis di PT PLN (Persero) Rayon Daya Makassar," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 02,

- 2020.
- [2] H. Sisintito, M. Facta, and E. W. Sinuraya, "Studi Penyambungan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Dengan Ke Jala-Jala Sistem Distribusi 20 KV Jawa Tengah," *J. Transient*, vol. 10, no. 4, pp. 664–669, 2021.
 - [3] A. Fathia, Badriana, D. Fariadi, and A. Bintoro, "Studi Recloser Untuk Memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Distribusi Di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Beureunuen," *J. Energi Elektr.*, vol. 12, no. 1, pp. 19–23, 2023.
 - [4] D. Haryadi, B. Utama, F. T. Industri, P. Studi, and T. Elektro, "Evaluasi Koordinasi Pemutus (PMT) Dengan Recloser (PBO) Pada Penyulang 20 KV Rayon Evaluation Of Breaker Coordination (PMT) With Recloser (PBO) At 20 KV Feeder Rayon," *J. Manaj. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, 2022.
 - [5] A. Rahim, I. C. Gunadin, and Y. U. Sombolayuk, "Studi Koordinasi Relai Arus Lebih Pada Sistem Proteksi Generator Dan Transformator PLTA Bakaru," *J. EKSITASI*, vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2023.
 - [6] R. S. Yusnianti, M. Pujiantara, and S. Anam, "Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi dengan Mempertimbangkan Busur Api pada Substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)," *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 2, 2022.
 - [7] U. Wiharja and H. E. Silaban, "Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Relay Pada Jaringan Distribusi 20 KV di PT SGMW Motor Indonesia," *J. Teknokris*, vol. 23, no. 2, pp. 66–72, 2020.
 - [8] P. N. Utami, Y. A. Volta, and M. H. Fatin, "Simulation Of Electric Power System Protection Coordination Using Etap," *Med. Trada J. Tek. Elektromedik Polbitrada*, vol. 5, no. 1, pp. 25–34, 2024.
 - [9] R. S. Sugiarto, U. Hanik, R. A. Ananto, and R. A. Ananto, "Studi Kinerja Relay Proteksi pada Transformator II 150/20 KV 50 MVA dengan Penyulang Lakarsantri di GIS Karangpilang PT. PLN (Persero)," *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan POLINEMA*, vol. 20, no. 10, 2021.
 - [10] A. Y. Perwita, "Analisis Skema Non-Cascade Berbasis IEC 61850 (Goose) Sebagai Proteksi Busbar 20kv Incoming Trafo 1 GIS Jakarta Garden City," UNIVERSITAS MERCU BUANA, 2021.
 - [11] H. Prasetijo, H. P. Widhiatmoko, and E. Triwijaya, "Simulasi Koordinasi Relay Arus Lebih Pola Non-Kaskade," *J. Din. Rekayasa*, vol. 16, no. 1, pp. 1–9, 2020.
 - [12] H. Purwanto, R. Huda, A. Indarto, F. Prisilia, D. D. Permata, and Z. A. Akbar, "20kV Busbar Protection Design Development to Overcome Various Disturbances Caused by Transformer Loading Configurations," in *2023 4th International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2023, pp. 264–269, doi: 10.1109/ICHVEPS58902.2023.10257408.
 - [13] D. Dityagraha, A. S. Alam, and A. H. Maulana, "Study of Non-cascading Protection Coordination Using IEC 61850 GOOSE Message Protocol in Distribution System with Distributed Generation Issued," *Proc. - 2022 9th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2022*, no. August 2022, pp. 19–24, 2022, doi: 10.1109/ICITACEE55701.2022.9924154.
 - [14] H. Prasetijo, A. Fadli, and F. Renaldi, "Improved Over Current Relay (OCR) Coordination Using Time Multiple Setting (TMS)," *MATEC Web Conf.*, pp. 0–4, 2024.
 - [15] M. L. Romadhoni, M. F. Nasution, and R. M. Utami, "Penerapan Pola Koordinasi Proteksi Non-Cascade Pada OCR Incoming dan OCR Penyulang Trafo," *Energi dan Kelistrikan J. Ilm.*, vol. 14, no. 1, pp. 119–128, 2022.
 - [16] N. Khoirunnisa, N. Inayah, F. Wiherdiansyah, and I. K. D. Adyano, "Studi Literatur Tentang Jenis dan Penyebab Gangguan Pada Saluran Transmisi," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 569–573, 2024.
 - [17] H. Salsabila, B. D. Setiawan, and Abdullah, "Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20KV Dengan Cara Hot Line Maintenance di PLN (Persero) Medan," *J. Polimedia*, vol. 26, no. 3, 2022.
 - [18] N. Naibaho and F. M. Pratama, "Analisis Gangguan Sistem Koordinasi Proteksi Non-Cascade Penyulang 20KV Di Gardu Induk Cengkareng," *J. Elektro*, vol. 12, no. 1, 2024.
 - [19] M. F. Nasution, *Penerapan Pola Koordinasi Proteksi Non-Cascade Pada Bay Transformer*. PT PLN (Persero), 2021.
 - [20] M. Yunus, A. V. Sulastri, and Z. B. Hasanuddin, "Analisis Trip Pada Gardu Hubung Akibat

Terjadinya Gangguan Pada ULP Jenepono,” *Vertex Elektro J. Tek. Elektro*, vol. 15, no. 1, pp. 17–25, 2023.